

doi: 10.7690/bgzdh.2013.11.013

基于信度理论的效能评估方法

包新平, 焦利明, 王银国

(中国人民解放军 73011 部队, 浙江 湖州 313006)

摘要: 针对现行的效能评估方法中出现的問題, 提出一种采用“效能信度”作为指标进行评估的方法。基于信度理论, 在给出了效能信度的定义的基础上, 用效能信度四元组作为评估指标, 建立了效能信度各指标的评估模型, 解决了效能评价中效能大小和效能置信度的问题。实例结果表明: 该方法切实有效, 使得评估更为科学、合理、全面、可信。

关键词: 信度理论; 效能评估; 向量相似度

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Method of Efficiency Evaluation Based on Reliability Theory

Bao Xinping, Jiao Liming, Wang Yinguo

(No. 73011 Unit of PLA, Huzhou 313006, China)

Abstract: In order to solve the problem of efficiency evaluation at present, put forward an evaluation method which takes “efficiency reliability” as index. Based on reliability theory, give efficiency reliability definition, use efficiency reliability “four indexes” group as evaluation index, establish evaluation model for all efficiency reliability indexes. It solves problem of efficiency and efficiency reliability in efficiency evaluation. The example results show that the method is effectively and it can makes evaluation more scientific, reasonable, comprehensive and reliable.

Key words: reliability theory; efficiency evaluation; vector similarity

0 引言

效能评估方法中, 现行的方法大多只注重如何取得一个定性或定量的评估结果, 这种评估往往是不全面和缺乏说服力的, 有时甚至是错误的。信度理论^[1]是进行信度分析的理论, “信度”指测验结果的可信程度, 信度分析指对可信度进行的数理分析。在取得评估结果的同时, 往往还关心所得结果是否可信及可信程度多高, 即效能究竟有多大(定性或定量的评估结果), 评估结果可信程度有多高(评估结果置信度分析)? 针对上述问题, 笔者基于信度理论, 提出一种采用“效能信度”作为指标进行评估的方法, 使得效能评估更为科学、合理、全面、可信。

1 基于效能信度的效能评估模型

1.1 效能信度的定义

定义 效能信度是反映效能评估结果及所得结果可信程度的一组综合指标, 效能信度用 E 表示。

根据定义, 这里效能信度 E 采用四元组指标: $E = \{\gamma, P, \lambda, \delta\}$ 。其中, γ 为效能综合评估值, $\gamma \in [0, 1]$; P 为评估结果的置信度, $P \in [0, 1]$; λ

为评价等级, $\lambda \in S$, S 为评价等级集, 这里采用“五等级测度”, $S = \{\text{很差, 差, 一般, 好, 很好}\}$; δ 为系统处于 λ 评价等级的隶属度, $\delta \in [0, 1]$ 。

1.2 评估模型

1.2.1 效能 θ 评估模型

关于效能评估模型论述的文献很多^[2-4], 笔者介绍一种基于向量相似度的效能评估模型。

1) 能力向量与最优向量的构成。

设指标 U 的子指标值为 $C = (C_1, C_2, \dots, C_i)$, 指标 U 的子指标相对于指标 U 权重分配为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_i)$, 则指标 U 的能力向量为: $N = (w_1 C_1, w_2 C_2, \dots, w_i C_i)$ 。

由于各子指标值经过合理归一化处理后有 $C_i \in [0, 1]$, 当 C_i 均取最优值 1 时(各子指标值均为 1), 此时能力向量 N 为最优向量, 即指标 U 的最优向量为: $Z = (w_1, w_2, \dots, w_i) = W$ 。

2) 基于向量相似度的效能评估模型。

由于向量包括方向和大小 2 个要素, 故可用方向和大小来综合表征两向量的相似度^[5]。

收稿日期: 2013-05-11; 修回日期: 2013-06-19

作者简介: 包新平(1968—), 男, 浙江人, 工程师, 从事作战指挥自动化研究。

定义 向量相似度就是指 2 个同维向量的相似程度。

① 能力向量 N 与最优向量 Z 的范数(大小)相似度:

$$\alpha = |N|/|Z| \tag{1}$$

式中: $|N|$ 、 $|Z|$ 分别为向量 N 和 Z 的范数。

② 能力向量 N 与最优向量 Z 的方向相似度

$$\beta = 1 - \frac{\phi}{\pi/2} \tag{2}$$

式中: ϕ 为向量 N 和 Z 的夹角, $\phi = \arccos \frac{[N,Z]}{|N| \cdot |Z|}$,

$[N,Z]$ 为向量 N 与 Z 的内积。

③ 系统效能的向量相似度评估模型。

$$\gamma = \alpha \cdot \beta = \frac{|N|}{|Z|} \times \left(1 - \arccos \frac{[N,Z]}{|N| \cdot |Z|} / \frac{\pi}{2} \right) \tag{3}$$

上述定义, 依据向量的两要素(大小和方向), 把向量的相似度(γ)分解为范数相似度(α)与方向相似度(β), 从而使得向量的相似度得以准确地表达, 此相似度反映了系统效能的大小。

3) 模型分析^[6]。

通过求取 γ 对 C_i 的一阶偏导数和二阶偏导数, 可以证明, 系统效能 γ 是各指标值 C_i 的增函数和凸函数, 即随着各指标的增大, 系统效能也不断增加且边际递减。由此可见, γ 随 C_i 的变化符合效能增长规律; 亦可证明线性加权模型是本模型在各个指标发展较为平衡下的一个特例。一般的, 当能力向量 N 和最优向量 Z 的夹角 $\phi \leq 10^\circ$ 时, 可用线性加权模型作为本模型的近似替代。

以向量形式表述指标和效能有以下优点:

① 这种表述具有唯一确定性。其唯一确定性表现为向量的维数, 即指标的个数, 当指标权重一定时, 向量的元素由各指标值唯一确定。

② 将各指标作为能力向量的一个元素, 向量是由各元素共同构成的, 各元素都是向量的一部分而不分主次, 其实际含义体现为效能表现为各指标的综合“合力”, 各指标对效能的贡献均不可或缺。

③ 向量的元素是通过各指标值和其权重的乘积构成的, 即使指标值相同, 由于各指标的权重不同, 各元素也不相同, 从而权重大的指标对 γ 的影响也越大, 这在 α 的求取中得以充分的体现。

由此可见, 以向量的形式表征效能不仅体现了

各指标对效能的共同作用, 也体现了在效能中各指标的权重关系。

根据评估模型, 则可求取底层指标能力向量和最优向量的向量相似度, 将此相似度作为上级指标的指标值, 并根据指标体系层次结构, 则可以分层递归求取总指标的能力向量与最优向量的相似度并将其作为最终的评估结果。依据评估结果, 从而求得了效能信度一元组 $E = \{\gamma\}$ 。

1.2.2 评估结果置信度 P 的确定

影响评估结果置信度 P 的因素有 2 个方面: 一是各指标量化和权重的确定过程, 这是进行有效评估的基础; 二是评估方法的选择, 有些方法在指标聚合过程中会造成误差累计, 使得评估结果可信度不高。

笔者介绍的向量相似度评估模型, 指标聚合过程不存在误差累计, 是一种较为理想的方法。从能力向量与最优向量的构成来看, 评估结果置信度只取决于底层指标的量化和权重的求取。

1) 范数相似度。

$$\alpha = \frac{|N|}{|Z|} = \frac{\sqrt{w_1^2 C_1^2 + w_2^2 C_2^2 + \dots + w_i^2 C_i^2}}{\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_i^2}} = \frac{\sqrt{\frac{w_1^2 C_1^2 + w_2^2 C_2^2 + \dots + w_i^2 C_i^2}{w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_i^2}}}{1}$$

设指标量化的置信度为 P_C , 权重向量 W 求取的置信度为 P_W , 则由 α 的构成可知其置信度 $P_\alpha = \sqrt{P_C P_W}$ 。

2) 方向相似度 $\beta = 1 - \frac{\phi}{\pi/2} =$

$1 - \arccos \frac{[N,Z]}{|N| \cdot |Z|} / \frac{\pi}{2}$, 则亦可知 $\frac{[N,Z]}{|N| \cdot |Z|}$ 的置信度

$P' = \sqrt{P_C P_W}$, 根据 $\arccos x$ 的变化规律可知, $P_\beta \leq P'$, 即 $P_\beta \leq P' = \sqrt{P_C P_W}$ 。

3) 由于向量相似度 $\gamma = \alpha \cdot \beta$, 则 γ 的置信度 $P = P_\alpha P_\beta \leq P_C P_W$, 从而求得了效能信度二元组 $E = \{\gamma, P\}$ 。

1.2.3 评估等级 λ 和评估等级隶属度 δ 的确定

评价等级 λ , 这里选取“五等级测度”= $\{\text{很差, 差, 一般, 好, 很好}\}$ 进行评级。首先给出评估等级标准如表 1 所示。

表 1 评估等级标准

标准值	评分区间	评分等级	评估结果
0.9	0.8~1.0	1	很好
0.7	0.6~0.8	2	好
0.5	0.4~0.6	3	一般
0.3	0.2~0.4	4	差
0.1	0~0.2	5	很差

对上述评估等级，给出模糊点与模糊区间的定义如下：

1) 模糊点：在“五等级测度”中，0.2, 0.4, 0.6, 0.8 为两相邻评估等级区间的交界值，称为模糊点；

2) 模糊区间的定义：若对于给定的阈值 k (k 事先由专家确定)，则由模糊点与阈值 k 确定的区间成为模糊区间。

由定义可知： $[0.2-k, 0.2+k]$, $[0.4-k, 0.4+k]$, $[0.6-k, 0.6+k]$, $[0.8-k, 0.8+k]$ 分别为很差与差，差与一般，一般与好，好与很好的模糊区间。

如图 1 阴影部分为模糊区间，模糊区间的交界点即为模糊点。

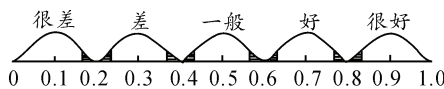


图 1 模糊点与模糊区间示意图

根据以上定义，对照评估等级标准，可能有以下 2 种情况：

第 1 种：当评估值不属于任意模糊区间时，这时该评估值严格隶属于某一等级，其等级隶属度 $\delta = 1$ ，对其他等级的隶属度为 0。

第 2 种：当评估值属于某模糊区间，则此评估值具有模糊性。则评估值同时隶属于模糊区间对应的 2 个评估等级，而对其他等级的隶属度为 0，其隶属于 2 个模糊区间的隶属度由以下公式确定：

评估值所归属的评分区间对应的等级隶属度：

$$\delta_1 = 0.5 + \frac{|\gamma - d_i|}{2k} \quad (4)$$

评估值非归属的评分区间对应的等级隶属度：

$$\delta_2 = 0.5 - \frac{|\gamma - d_i|}{2k} \quad (5)$$

式中： d_i 为某模糊点值； k 为事先给定的阈值； γ 为效能评估值。

从而求得了效能信度四元组 $E = \{\gamma, P, \lambda, \delta\}$ 。

2 指挥信息系统实体抗毁能力评估算例

下面以指挥信息系统实体抗毁能力(硬防护能力)评估为例，对笔者所述方法进行简要说明。

1) 通过数理量化方法^[7]构建指挥信息系统实体抗毁能力指标体系如图 2 所示。

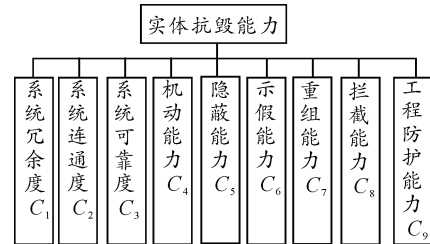


图 2 指挥信息系统实体抗毁能力指标体系

2) 指标的标准化。

通过专家咨询及建立各指标规范化函数，求得各指标规范化值如表 2 所示。

表 2 各指标规范化值

指标	系统冗余度	系统连通度	系统可靠度	机动能力	隐蔽能力	示假能力	重组能力	拦截能力	工程防护能力
指标值	0.75	0.85	0.99	0.83	0.75	0.80	0.67	0.73	0.76

3) 指标权重的确定。

通过公式赋权法^[8]确定各指标权重如表 3 所示。

表 3 各指标权重

指标	系统冗余度	系统连通度	系统可靠度	机动能力	隐蔽能力	示假能力	重组能力	拦截能力	工程防护能力
权重值	0.07	0.09	0.09	0.14	0.11	0.13	0.10	0.15	0.12

4) 确定能力向量和最优向量。

由指标标准化值和指标权重可知能力向量和最优向量为：

$$N = (w_1 C_1, w_2 C_2, \dots, w_i C_i) = (0.0525, 0.0765, 0.0891, 0.1162, 0.0825, 0.104, 0.067, 0.1095, 0.0912) \quad (6)$$

$$Z = (w_1, w_2, \dots, w_i) = (0.07, 0.09, 0.09, 0.14, 0.11, 0.13, 0.10, 0.15, 0.12) \quad (7)$$

5) 确定实体抗毁能力。

根据向量相似度评估模型，求得 $\gamma = \alpha \cdot \beta = 0.784$ 。

6) 评估结果置信度分析。

指标规范化置信度 P_C 受专家组可信度 P_1 和隶属度函数求算误差 P_2 影响。为简要说明问题，这里设专家组可信度 $P_1 = 0.90$ ，隶属度函数求算误差

$$P_2 = 0.88, \text{ 取 } P_C = \frac{P_1 + P_2}{2} = 0.89。$$

权重根据公式赋权法求得，公式赋权法是一种定性与定量相结合的较为客观的数理算法，设专家组可信度 $P_3 = 0.90$ ，算法可信度 $P_4 = 0.96$ ，取

$$P_w = \frac{P_3 + P_4}{2} = 0.93。$$